



UNIVERZITET U BEOGRADU
GRAĐEVINSKI FAKULTET



INSTITUT ZA MATERIJALE I KONSTRUKCIJE

Laboratorija za materijale

Telefon (011) 33-70-152; (011) 33-70-097

Telefaks (011) 33-70-253

e-mail: office@imk.grf.bg.ac.rs

Bulevar kralja Aleksandra 73, Beograd

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ГРАЂЕВИНСКИ ФАКУЛТЕТ

Бр. 130684/7-10

31. MAY 2010. год.

БЕОГРАД

Булевар краља Александра 73

IZVEŠTAJ - br. 35/2010

O ISPITIVANJU SA STRUČNIM MIŠLJENJEM
O POTKONSTRUKCIJI VENTILISANE KAMENE FASADE SISTEMA "TABAŠ"

Naručilac ispitivanja / Investitor	TABAŠ d.o.o, Trajka Rajkovića 3 11070 NOVI BEOGRAD
Predmet ispitivanja	Analiza nosivosti i ispitivanje elemenata potkonstrukcije za ventilisanu kamenu fasadu sistema "Tabaš"
Broj ugovora / ponude	Ponuda br. 130684/2 od 29.01.2010.

Izveštaj odobrio

Tehnički rukovodilac Laboratorije:

Mr Dimitrije Zakić, dipl.inž.građ.

UPRAVNIK INSTITUTA

Prof. dr Dušan Najdanović, dipl.inž.građ.

DEKAN GRAĐEVINSKOG FAKULTETA

Prof. dr Đorđe Vuksanović, dipl.inž.građ.



SADRŽAJ

NASLOVNA STRANA	1
Potvrda.....	3
IZVEŠTAJ	4
1. Opšti podaci.....	4
2. Opis sistema "Tabaš"	4
3. Rezultati ispitivanja materijala – aluminijuma	5
4. Nosivost vertikalnog (primarnog) elementa potkonstrukcije	6
5. Nosivost horizontalnih (sekundarnih) elemenata potkonstrukcije	8
6. Nosivost kamenih ploča od granita	11
7. Zaključak	12
PRILOG – fotodokumentacija	13



Na osnovu Zakona o planiranju i izgradnji ("Službeni glasnik Republike Srbije", br. 72/09) izdaje se

POTVRDA

Da su saradnici Instituta za materijale i konstrukcije, zaposleni na Građevinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu

Odgovorni nosilac
zadatka:

Mr Dimitrije Zakić, dipl.inž.građ.

Izvršioci ispitivanja:

Savo Stavnjak, laborant

Analiza i zaključak: Mr Dimitrije Zakić, dipl.inž.građ.

izradili TEHNIČKU DOKUMENTACIJU pod nazivom:

IZVEŠTAJ - br. 35/2010

O ISPITIVANJU SA STRUČNIM MIŠLJENJEM O POTKONSTRUKCIJI VENTILISANE KAMENE FASADE SISTEMA "TABAŠ"

Navedena dokumentacija je izrađena u skladu sa zahtevom Naručioca i odredbama pomenutog Zakona. Za stručnog konsultanta prilikom izrade predmetne dokumentacije određuje se:

Prof. dr Mihailo Muravljov, dipl.građ.inž.

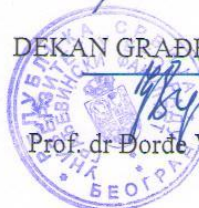
Beograd, maj 2010.

UPRAVNIK INSTITUTA

Prof. dr Dušan Najdanović, dipl.inž.građ.

DEKAN GRAĐEVINSKOG FAKULTETA

Prof. dr Đorđe Vuksanović, dipl.inž.građ.





I Z V E Š T A J

1. OPŠTI PODACI

Na osnovu zahteva Naručioca – firme Tabaš d.o.o. iz Beograda (naš br. 130684-10 od 23.01.2010. godine), izvršeno je ispitivanje potkonstrukcije i analiza nosivosti ventilisane kamene fasade sistema "Tabaš".

Izveštaj sadrži rezultate i zaključke eksperimentalnih ispitivanja, odnosno računskih analiza koji se, saglasno usvojenom programu, odnose na sledeće:

- osnovne fizičko-mehaničke karakteristike materijala - aluminijuma od koga je izrađena potkonstrukcija;
- nosivost kamene obloge na dejstvo horizontalnog opterećenja - opterećenja od vetra;
- nosivost vertikalnog (primarnog) elementa potkonstrukcije pričvršćenog za zid od betona;
- nosivost horizontalnih (sekundarnih) elemenata potkonstrukcije na dejstvo vertikalnog i horizontalnog opterećenja.

Ovde se napominje da je pri realizaciji napred navedenog programa ispitivanja i računskih analiza korišćen *Elaborat za izradu i izvođenje ventilisane granitne fasade na objektu Centar oblasne kontrole letenja Beograd* (novembar 2009.) potpisan od strane Aleksandra Trajkovića, dipl.inž.građ.

U okviru ovog izveštaja, osim teksta koji sledi, daje se i odgovarajuća fotodokumentacija kojom se ilustruju sistem "Tabaš" i sprovedena ispitivanja.



2. OPIS SISTEMA "TABAŠ"

Sistem ventilisane kamene fasade "Tabaš" ima potkonstrukciju koja je tako koncipirana da se pri njenoj primeni može ostvariti maksimalno odstojanje od lica kamena do površine zida cca 24cm (pri korišćenju tzv. "primara" od aluminijuma), odnosno cca 40cm (pri korišćenju "primara" od nerđajućeg čelika). Kamen o kome je reč, pak, može da bude travertin, polimermer, mermer ili granit, koji se koristi u vidu pravougaonih ploča debljina 2cm, 3cm, a izuzetno i 4cm; predmetne ploče u principu imaju širine 50-70-100 cm (a ponekad i više). Dužine ploča mogu da budu različite, pri čemu su u okviru ovog elaborata ispitivane, odnosno analitički tretirane, ploče sledećih dužina:

- u slučaju travertina: 80cm, 90cm i 100cm;
- u slučaju granita: 120cm, 140cm i 150cm.

Ovde se napominje da se pojmovi "širina" i "dužina" odnose na dimenzije ploča kao takvih, pri čemu pojam "dužina" treba shvatiti kao meru ploče postavljene u vertikalnom položaju u fasadi.

Takođe se napominje da su u okviru ovog elaborata, a radi ispitivanja i računskih analiza, usvojene ploče od travertina i granita kao "najlakše" i "najteže" u smislu veličina zapreminskih masa, a takođe i u smislu najmanjih i najvećih čvrstoća.

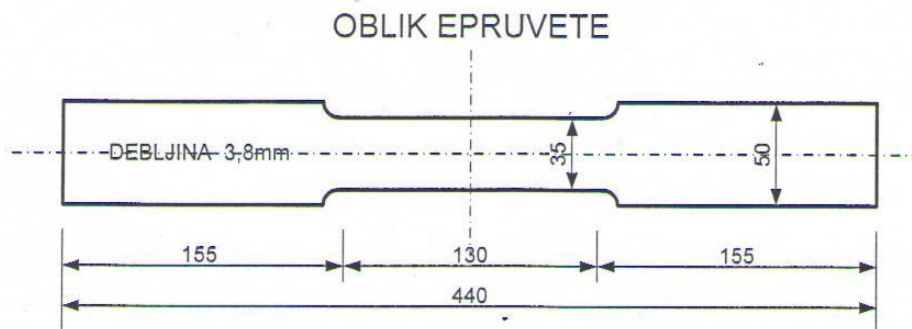
Potkonstrukciju sistema "Tabaš" čine vertikalni aluminijumski "L" elementi tipa TV1, dimenzija 50x70x4mm. Ovi elementi postavljaju se na rastojanju 90-100cm (mestimično i 110cm), pri čemu se njihovo povezivanje sa zidovima u visinskom smislu izvodi putem tzv. "primara" i "sekundara" od aluminijuma ili nerđajućeg čelika na maksimalnom međusobnom razmaku 150cm. "Primari" i "sekundari" predstavljaju svojevrsne distancere koji "L" elementima obezbeđuju zahtevana rastojanja od zidnih površina. "Primari" i "sekundari" se povezuju sa zidnim površinama ankerima-tiplovima, pri čemu "primari" obavezno moraju biti ankerisani u betonu. Povezivanje "primara" i "sekundara" sa "L" elementom, pak, izvodi se putem zavrtnjeva M10.

U slučajevima kada odstojanje lica kamena od površine zida treba da iznosi 23cm (ili blisko toj vrednosti), primenjuje se rešenje sa produženim "distancerima" prikazanim na slici datoj u okviru Fotodokumentacije.

Na vertikalno postavljene "L" elemente priključuju se horizontalni aluminijumski elementi specijalnih poprečnih preseka sa oznakama TH1, TH2 ili TH3, koji predstavljaju oslonce-nosače kamenih ploča. Povezivanje ovih horizontalnih elemenata sa "L" elementom izvodi se putem zavrtnjeva M8.

3. REZULTATI ISPITIVANJA MATERIJALA - ALUMINIJUMA

Ispitivanje osnovnih fizičko-mehaničkih karakteristika materijala - aluminijuma od koga se izrađuju elementi potkonstrukcije sistema "Tabas" sprovedeno je na uzorcima-epruvetama (komada 3) čiji je oblik prikazan na slici 1.



Slika 1. Oblik aluminijumske epruvete

Kao što se na datoj slici vidi, reč je o tzv. "oslabljenoj" epruveti koja je dobijena isecanjem iz "L" profila dimenzija 50x70x4 mm.

Rezultati sprovedenih ispitivanja prikazuju se u tabeli 1.

Tabela 1. Rezultati ispitivanja aluminijumskih uzoraka-epruveta

UZORAK - EPRUVETA	Sila loma (kN)	l_0 (mm)	l_1 (mm)	Čvrstoća pri zatezanju (MPa)	Prekidno izduženje (%)
1	31,8	130	135,6	2391	4,31
2	34,0	130	137,7	2556	5,92
3	33,5	130	136,6	2519	5,08

Na osnovu dobijenih rezultata ispitivanja, sledi zaključak da ispitivani uzorci-epruvete zadovoljavaju uslov za aluminijumsku leguru AA 6063 T6 ($f_{02} = 21,50 \text{ kN/cm}^2$, $E = 70.000 \text{ N/mm}^2$).



4. NOSIVOST KAMENIH PLOČA OD TRAVERTINA ($d = 20\text{mm}$, širina ploče $b = 50\text{cm}$, otporni momenat $W = 33,3\text{cm}^3$)

Ispitivanje nosivosti kamenih ploča od travertina izvršeno je na ukupno 9 (devet) ploča, pri čemu su 3 (tri) ploče bile dužine 80cm, 3 (tri) ploče dužine 90cm, a 3 (tri) ploče dužine 100cm. Ploče su ispitane na savijanje kao prosto oslonjeni nosači, pri čemu je opterećenje tih nosača po karakteru trebalo da odgovara dejstvu vetra. S obzirom na to, svaka ploča je pri ispitivanju ravnomerno opterećivana većim brojem betonskih kocki sa dužinama ivica 15cm i sa masama cca 8kg, odnosno sa težinama cca 0,08kN po jednoj kocki. Ovde se napominje da je pri svim ispitivanjima o kojima je reč, lom ploča nastupao u njihovim središnjim zonama, a ne u zonama oslonaca - tamo gde su ploče bile "oslabljene" zasecima ("šlicevima") - žlebovima neophodnim za njihovo povezivanje sa horizontalnim aluminijumskim elementima.

Rezultati sprovedenih ispitivanja prikazuju se u tabeli 2.

Tabela 2. Rezultati ispitivanja ploča od travertina

Ploča dužine 80cm					
Uzorak	Max. broj kocki	Površ.opterećenje q_p (kN/m ²)	Lin.opterećenje q (kN/m)	M_{max} (kNm)	f_{ys} (MPa)
1	33	6,60	3,30	0,264	7,92
2	36	7,20	3,60	0,288	8,65
3	35	7,00	3,50	0,280	8,41
Srednja vrednost					8,33
Ploča dužine 90cm					
Uzorak	Max. broj kocki	Površ.opterećenje q_p (kN/m ²)	Lin.opterećenje q (kN/m)	M_{max} (kNm)	f_{ys} (MPa)
1 ^{*)}	9	1,60	0,80	0,081	2,43
2	27	4,80	2,40	0,243	7,30
3	27	4,80	2,40	0,243	7,30
Srednja vrednost					5,68
Ploča dužine 100cm					
Uzorak	Max. broj kocki	Površ.opterećenje q_p (kN/m ²)	Lin.opterećenje q (kN/m)	M_{max} (kNm)	f_{ys} (MPa)
1	24	3,84	1,92	0,240	7,21
2	19	3,04	1,52	0,190	5,70
3	21	3,36	1,68	0,21	6,31
Srednja vrednost					6,41

^{*)} Ploča sa izraženim defektom - pukotinom na površini



Na bazi prikazanih rezultata ispitivanja može se usvojiti sledeća prosečna vrednost čvrstoće pri savijanju predmetnih ploča:

$$f_{ys} = (8,33 + 5,68 + 6,41)/3 = 6,81 \approx 6,8 \text{ MPa,}$$

pa sledi da ploče debljine 2,0cm, 3,0cm i 4,0cm, a širine 1m=100cm, mogu u proseku da prihvate granične momente savijanja:

$$M_{\max,gr} = 2xWxf_{ys} \text{ (kNm)}$$

i granična površinska opterećenja – opterećenja od vetra:

$$p_{h,gr} = 8xM_{\max,gr}/l^2 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

saglasno tabeli 3.

Tabela 3. Granična površinska opterećenja i faktori sigurnosti ploča od travertina

Debljina ploče d (cm)	Otporni moment W (cm ³ /m)	Moment M _{max,gr} (kNm/m)	Granično površ. opterećenje		Faktor sigurnosti n za p _{h,doz} = 1,25kN/m ²	
			l (raspon) cm	p _{h,gr} (kN/m ²)	l (raspon) cm	n
2cm	66,7	0,454	80	7,094	80	5,7
			90	5,605	90	4,5
			100	4,540	100	3,6
3cm	150,0	1,020	80	15,938	80	12,3
			90	12,592	90	10,1
			100	10,200	100	8,2
4cm	266,7	1,814	80	28,344	80	22,7
			90	22,395	90	17,9
			100	18,140	100	14,5

Kao što se vidi iz tabele 3, faktori sigurnosti n predmetnih ploča pri delovanju horizontalnih opterećenja – opterećenja upravnih na njihove površine – izračunati su za slučaj dozvoljenog (radnog) opterećenja od vetra intenziteta p_{h,doz} = 1,25kN/m²; ovo opterećenje se u uslovima Beograda može smatrati za maksimalno (merodavno) opterećenje od vetra i ono odgovara osnovnoj brzini vetra od 27m/s.



5. NOSIVOST KAMENIH PLOČA OD GRANITA ($d = 20\text{mm}$, širina ploče $b = 50\text{cm}$, otporni momenat $W = 33,3\text{cm}^3$)

Ispitivanje nosivosti kamenih ploča od granita izvršeno je na ukupno 9 (devet) ploča, pri čemu su 3 (tri) ploče bile dužine 120cm, 3 (tri) ploče dužine 140cm, a 3 (tri) ploče dužine 150cm. Ploče su ispitane na savijanje kao prosto oslonjeni nosači, pri čemu je opterećenje tih nosača po karakteru trebalo da odgovara dejstvu vetra. S obzirom na to, svaka ploča je pri ispitivanju ravnomerno opterećivana većim brojem betonskih kocki sa dužinama ivica 15cm i sa masama cca 8kg, odnosno sa težinama cca 0,08kN po jednoj kocki. Ovde se napominje da je pri svim ispitivanjima o kojima je ovde reč lom ploča nastupao u njihovim središnjim zonama, a ne u zonama oslonaca - tamo gde su ploče bile "oslabljene" zasecima ("šlicevima") - žlebovima neophodnim za njihovo povezivanje sa horizontalnim aluminijumskim elementima.

Rezultati sprovedenih ispitivanja prikazuju se u tabeli 4.

Tabela 4. Rezultati ispitivanja ploča od granita

Ploča dužine 120cm					
Uzorak	Max. broj kocki	Površ.opterećenje q_p (kN/m ²)	Lin.opterećenje q (kN/m)	$M_{\max}$ (kNm)	f_{ys} (MPa)
1	31	4,13	2,07	0,373	11,19
2	29	3,86	1,93	0,347	10,42
3	33	4,40	2,20	0,396	11,89
Srednja vrednost					11,17
Ploča dužine 140cm					
uzorak	Max. broj kocki	Površ.opterećenje q_p (kN/m ²)	Lin.opterećenje q (kN/m)	$M_{\max}$ (kNm)	f_{ys} (MPa)
1	22	2,51	1,26	0,308	9,25
2	24	2,74	1,37	0,336	10,07
3	23	2,62	1,31	0,321	9,64
Srednja vrednost					9,65
Ploča dužine 150cm					
uzorak	Max. broj kocki	Površ.opterećenje q_p (kN/m ²)	Lin.opterećenje q (kN/m)	$M_{\max}$ (kNm)	f_{ys} (MPa)
1	19	2,03	1,01	0,284	8,53
2	21	2,24	1,12	0,315	9,46
3	21	2,24	1,12	0,315	9,46
Srednja vrednost					9,15



Na bazi prikazanih rezultata ispitivanja može se usvojiti sledeća prosečna vrednost čvrstoće pri savijanju predmetnih ploča:

$$f_{ys} = (11,17 + 9,65 + 9,15)/3 = 9,99 \approx 10,0 \text{ MPa},$$

pa sledi da ploče debljine 2,0cm, 3,0cm i 4,0cm, a širine $1\text{m}=100\text{cm}$, mogu u proseku da prihvate granične momente savijanja:

$$M_{\max,gr} = 2xWxf_{ys} \text{ (kNm)}$$

i granična površinska opterećenja – opterećenja od vetra:

$$p_{h,gr} = 8xM_{\max,gr}/l^2 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

saglasno tabeli 5.

Tabela 5. Granična i dozvoljena površinska opterećenja granitnih ploča

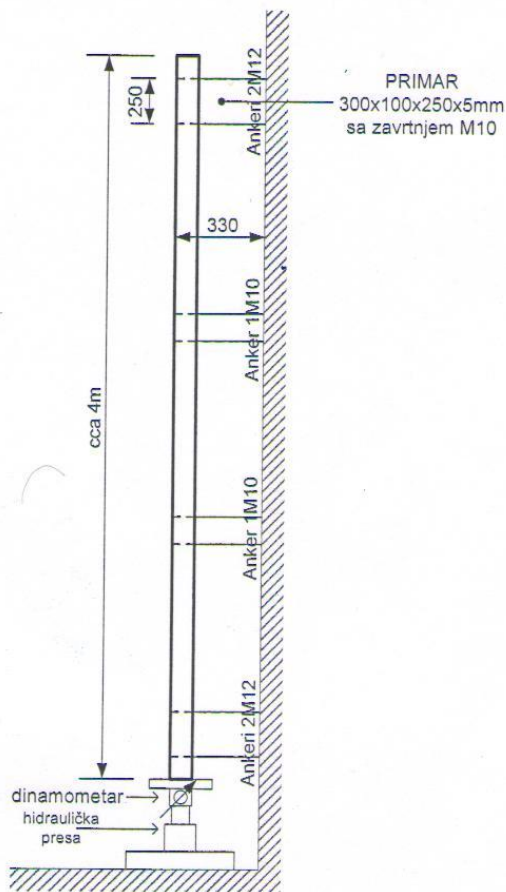
Debljina ploče d (cm)	Otporni moment W (cm ³ /m)	Moment M _{max,gr} (kNm/m)	Granično površ. opterećenje		Faktor sigurnosti n za p _{h,doz} = 1,25kN/m ²	
			l (raspon) cm	p _{h,gr} (kN/m ²)	l (raspon) cm	n
2cm	66,7	66,7	120	4,63	120	3,7
			140	3,40	140	2,7
			150	2,96	150	2,4
3cm	150,0	150,0	120	10,42	120	8,3
			140	7,65	140	6,1
			150	6,67	150	5,3
4cm	266,7	266,7	120	18,52	120	14,8
			140	13,61	140	10,8
			150	11,85	150	9,5

Kao što se vidi iz tabele 5, faktori sigurnosti **n** predmetnih ploča pri delovanju horizontalnih opterećenja – opterećenja upravnih na njihove površine – izračunati su za slučaj dozvoljenog (radnog) opterećenja od vetra intenziteta $p_{h,doz} = 1,25\text{kN/m}^2$; ovo opterećenje se u uslovima Beograda može smatrati za maksimalno (merodavno) opterećenje od vetra i ono odgovara osnovnoj brzini vetra od 27m/s.

6. NOSIVOST VERTIKALNOG (PRIMARNOG) ELEMENTA POTKONSTRUKCIJE

Nosivost vertikalnog (primarnog) elementa potkonstrukcije pričvršćenog za zid od armiranog betona ispitana je *in situ* saglasno dispoziciji - modelu prikazanom na slici 2.

Napominje se da je predmetni model za ispitivanje nosivosti izveden u svemu prema tehničkim uslovima sistema "Tabaš".



Slika 2. Dispozicija ispitivanja vertikalnog (primarnog) elementa potkonstrukcije

Rezultati sprovedenog ispitivanja u vidu funkcionalne zavisnosti *sila - vertikalno pomeranje* prikazuju se na slici 3.

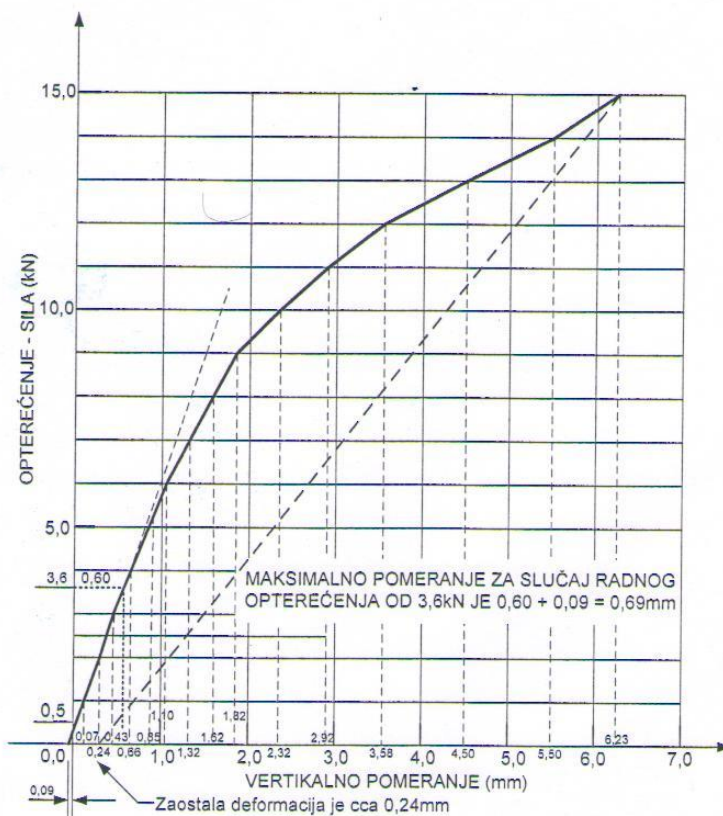


Ako se pri analizi dobijenih rezultata ispitivanja prepostavi slučaj kada na vertikalni element potkonstrukcije deluje opterećenje od granitnih ploča debljine 3cm, onda se kao maksimalno radno opterećenje može usvojiti opterećenje od:

$$30(\text{zapreminska težina kamena}) \times 0,03(\text{debljina ploče}) \times 1,00(\text{razmaci vertikalnih "L" elemenata}) \times 4,00(\text{dužina "L" elementa}) = 3,60 \text{ kN}.$$

Kao što pokazuje slika 3, za to opterećenje dobija se vertikalno pomeranje vertikalnog "L" elementa veličine 0,69mm.

Slika 3 takođe pokazuje da je pri predmetnom ispitivanju opterećenje povećavano sve do veličine od 15,0 kN, koja još uvek nije predstavljala graničnu silu. Nakon dostizanja te sile, model je rasterećen, pri čemu je dobijena zanemarljivo mala zaostala deformacija veličine cca 0,24mm.



Slika 3. Zavisnost sila - vertikalno pomeranje dobijena ispitivanjem



Ako se pretpostavi da na vertikalni element potkonstrukcije deluje opterećenje od granitnih ploča debljine 4cm, onda se kao maksimalno radno opterećenje može usvojiti opterećenje od:

$$30(\text{zapreminska težina kamena}) \times 0,04(\text{debljina ploče}) \times 1,00(\text{razmaci vertikalnih "L" elemenata}) \times 4,00(\text{dužina "L" elementa}) = 4,80 \text{ kN.}$$

Za to opterećenje, na osnovu dijagrama na slici 3, sledi da vertikalno pomeranje vertikalnog "L" elementa u datom slučaju ima veličinu od cca 0,90mm.

Ovde se još jednom napominje da opterećenje od 15,0 kN do koga je vršeno predmetno ispitivanje, a koje još uvek nije predstavljalo graničnu silu, daje pravo na zaključak da je faktor sigurnosti predmetne konstrukcije na lom (otkaz) svakako veći od 2,0.

U tabeli 6 prikazuju se vertikalna pomeranja »primara« u slučajevima kada su oni izloženi opterećenjima od granitnih ploča debljine 2cm, 3cm i 4cm, a sve na bazi zavisnosti *sila - vertikalno pomeranje* prikazane na slici 3.

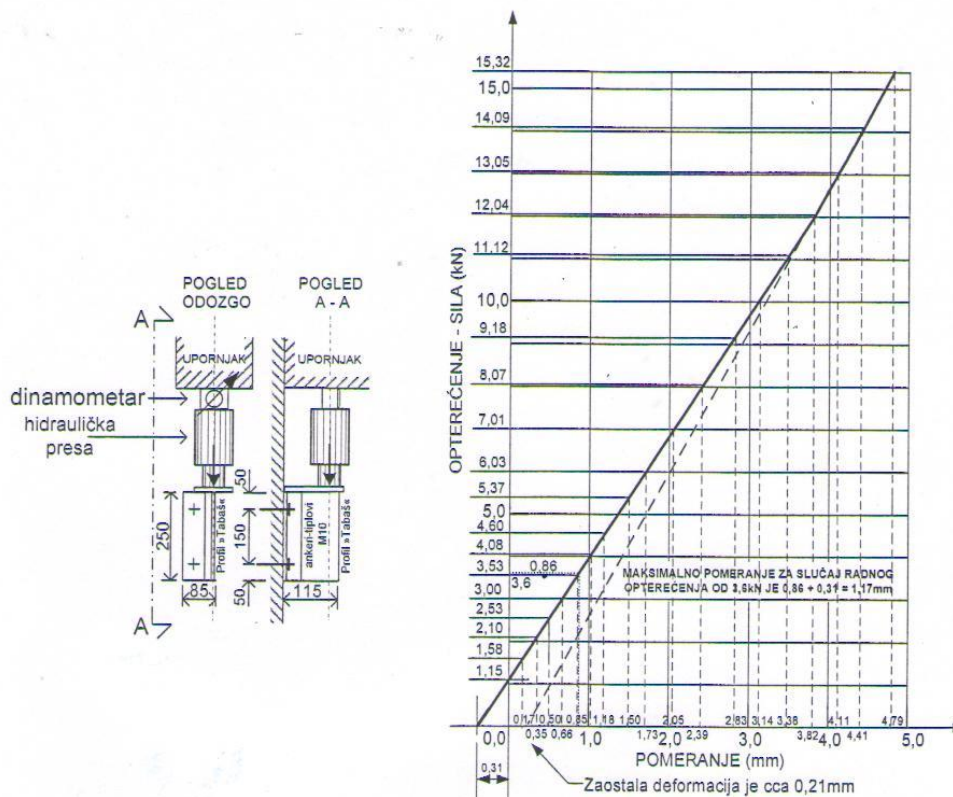
Tabela 6. Pregled veličina vertikalnih pomeranja »primara« od nerđajućeg čelika kada su oni izloženi opterećenjima od granitnih ploča različitih debljina

Debljina ploče	Sila (kN)	Pomeranje (mm)
2cm	2,40	cca 0,48
3cm	3,60	cca 0,69
4cm	4,80	cca 0,90

Ovde se napominje da je napred opisano ispitivanje izvršeno na dispoziciji-modelu u okviru koga je "primar" bio od nerđajućeg čelika.

Kako u okviru sistema "Tabaš" "primari" u principu mogu da budu i od aluminijuma (kao standardna rešenja za ventilisane fasade kod kojih je lice kamena od površine zida na udaljenju $16,5 \pm 3\text{cm}$), sprovedeno je i ispitivanje koje odgovara tom slučaju, pri čemu je dispoziciju-model predstavljao samo jedan takav profil "Tabaš" - bez vertikalnog "L" elementa.

Dispozicija predmetnog ispitivanja i dobijeni rezultati, dati u vidu dijagrama *sila - pomeranje*, prikazani su na slici 4.



Slika 4. Dispozicija ispitivanja "primara" u vidu aluminijumskog "Tabas" profila na dejstvo opterećenja koje se prenosi od vertikalnog "L" elementa i dobijeni rezultati ispitivanja

Na osnovu dobijenog dijagrama *sila - pomeranje* prikazanog na slici 4, može se zaključiti sledeće:

- za slučaj delovanja opterećenja od granitnih ploča debljine 3cm (sila 3,6kN) maksimalno pomeranje je 1,17mm;
- za slučaj delovanja opterećenja od granitnih ploča debljine 4cm (sila 4,8 kN) maksimalno pomeranje je cca 1,50mm;
- pri ostvarenoj maksimalnoj sili od 15,0 kN, a koja još uvek nije predstavljala graničnu silu, po rasterećenju modela dobijena je zaostala deformacija od $0,21 + 0,31 = 0,52$ mm.

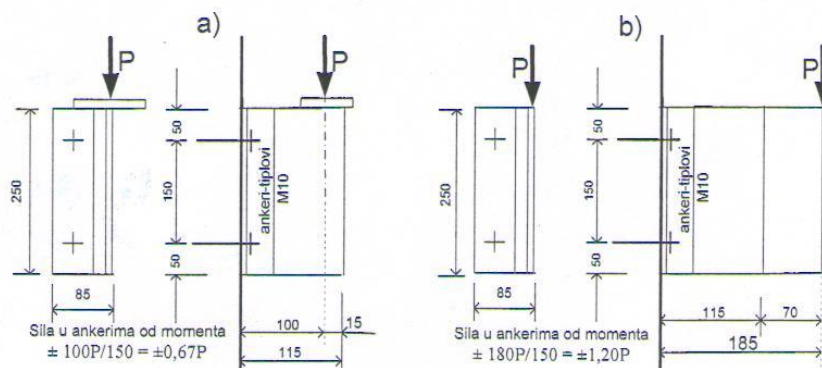


U tabeli 7 prikazuju se vertikalna pomeranja »primara« u slučajevima kada su oni izloženi opterećenjima od granitnih ploča debljine 2cm, 3cm i 4cm, a sve na bazi zavisnosti *sila - vertikalno pomeranje* prikazane na slici 4.

Tabela 7. Pregled veličina vertikalnih pomeranja »primara« od aluminijuma kada su oni izloženi opterećenjima od granitnih ploča različitih debljina

Debljina ploče	Sila (kN)	Pomeranje (mm)
2cm	2,40	cca 0,84
3cm	3,60	cca 1,17
4cm	4,80	cca 1,50

Na osnovu svih prikazanih rezultata ispitivanja i sprovedenih analiza, proizilazi opšti zaključak da "primari" od aluminijuma u okviru sistema "Tabaš" mogu sa velikim koeficijentima sigurnosti da prihvate opterećenja od kamenih ploča koje se primenjuju u datom sistemu, odnosno od ploča debljine 2cm, 3cm i 4cm. Ovo važi u slučajevima kada se primenjuju vertikalni "L" elementi dužina 3, 4, 5 i 6m, a na međusobnom rastojanju od 1,0m.



Slika 5. Analiza nosivosti standardnog "primara" (a) i produženog "primara" od aluminijuma (b)

Napred je već rečeno da se u slučajevima kada odstojanje lica kamena od površine zida treba da iznosi 23cm (ili blisko toj vrednosti), primenjuju različita rešenja sa produženim "distancerima", a što podrazumeva da se standardni "primari" određenim dodacima produžavaju. Jedan takav slučaj je prikazan u okviru Fotodokumentacije, a ovde će se sprovesti proračun nosivosti takvog elementa zasnovan na rezultatima ispitivanja prikazanim na slici 4.

Slučaj produženog "primara" može se svesti na standardni slučaj ako se uzme da su ankeri u sistemu prikazanom na slici 5b, umesto silom 0,67P, opterećeni silom intenziteta 1,20P. U tom slučaju se kao merodavne vrednosti pomeranja produženih »primara«, a pod pretpostavkom da su oni izloženi opterećenjima od granitnih ploča, mogu usvojiti vrednosti date u tabeli 8, a što su u stvari vrednosti sila i pomeranja prema tabeli 7 multiplicirane faktorom $1,20/0,67 = 1,79$.

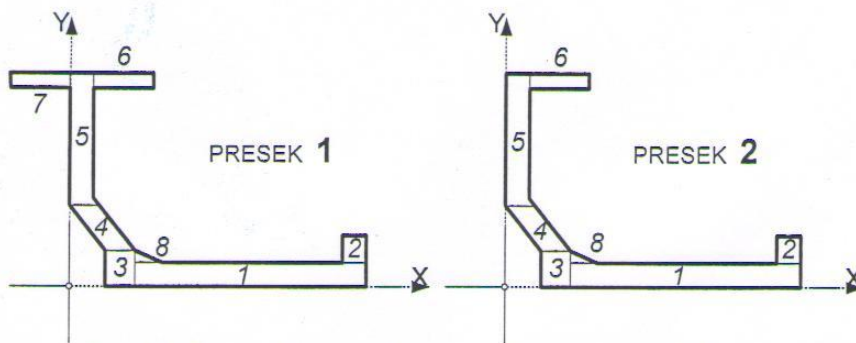


Tabela 8. Pregled veličina vertikalnih pomeranja produženog »primara« od aluminijuma kada je on izložen opterećenjima od granitnih ploča različitih debljina

Debljina ploče	Sila (kN)	Pomeranje (mm)
2cm	4,30	cca 1,50
3cm	6,44	cca 2,09
4cm	8,59	cca 2,68

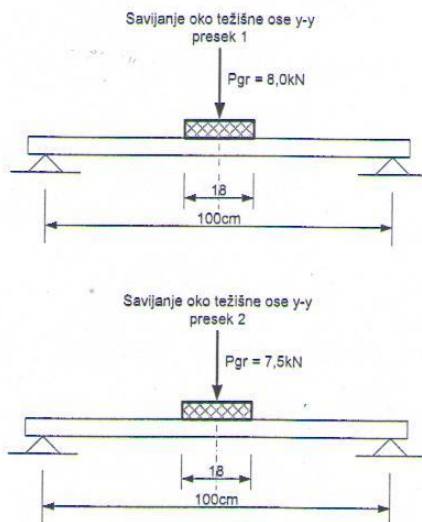
7. NOSIVOST HORIZONTALNIH (SEKUNDARNIH) ELEMENTA POTKONSTRUKCIJE

Ispitivanje nosivosti horizontalnih (sekundarnih) elemenata potkonstrukcije izvršeno je kako na dejstvo vertikalnog, tako i na dejstvo horizontalnog opterećenja, pri čemu su eksperimentalno ispitivani elementi-nosači sa presecima prikazanim na slici 6. Pri ovome su predmetni elementi-nosači tretirani kao proste grede raspona 1,00m, što odgovara slučaju maksimalnih razmaka vertikalnih "L" elemenata u okviru sistema "Tabaš" pri vertikalnim opterećenjima koja odgovaraju težinama granitnih ploča debljine 3cm.



Slika 6. Poprečni preseki horizontalnih (sekundarnih) elemenata

Ispitivanjem na dejstvo vertikalnog opterećenja, saglasno slici 7, a što odgovara savijanju predmetnih elemenata-nosača oko težišnih osa Y, dobijeni su rezultati ispisani u okviru iste slike. Na osnovu dobijenih rezultata, koji predstavljaju srednje vrednosti ispitivanja dva uzorka, proizilazi sledeće:



Slika 7. Ispitivanje na vertikalno opterećenje

Presek 1: $\max M_p = 8,0 \times 1,0 / 4 = 2,00 \text{ kNm}$
 $\max M_p = p l^2 / 8 = 2,00 \text{ kNm} \rightarrow p_{gr,v} = 16,00 \text{ kN/m}.$

U slučaju granitne ploče debljine 3cm vertikalno opterećenje koje deluje na predmetni nosač može da ima maksimalni radni intenzitet:

$$p_v = 30(\text{zapreminska težina kamena}) \times 0,03(\text{debljina ploče}) \times 1,50(\text{razmaci horizontalnih elemenata}) = 1,35 \text{ kN/m},$$

pa proizilazi da je u konkretnom slučaju faktor sigurnosti na totalni otkaz – lom nosača – vrlo velik, odnosno sledeći:

$$n = 16,00 / 1,35 = \text{cca } 12.$$

Ukoliko je, pak, reč o granitnim pločama debljine 4cm, vertikalno opterećenje koje deluje na predmetni nosač može da ima maksimalni radni intenzitet:

$$p_v = 30(\text{zapreminska težina kamena}) \times 0,04(\text{debljina ploče}) \times 1,50(\text{razmaci horizontalnih elemenata}) = 1,80 \text{ kN/m},$$

pa proizilazi da je u tom slučaju faktor sigurnosti na totalni otkaz – lom nosača – takođe vrlo velik, odnosno sledeći:

$$n = 16,00 / 1,80 = \text{cca } 9.$$



Presek 2: $\max M_p = 7,5 \times 1,0/4 = 1,88 \text{ kNm}$
 $\max M_p = pl^2/8 = 1,88 \text{ kNm} \rightarrow p_{gr,v} = 15,04 \text{ kN/m}$

U slučaju granitne ploče debljine 3cm vertikalno opterećenje koje deluje na predmetni nosač može da ima maksimalni radni intenzitet kao u prethodnom slučaju:

$$p_v = 1,35 \text{ kN/m},$$

proizilazi da je i u konkretnom slučaju faktor sigurnosti na totalni otkaz – lom nosača – vrlo velik, odnosno sledeći:

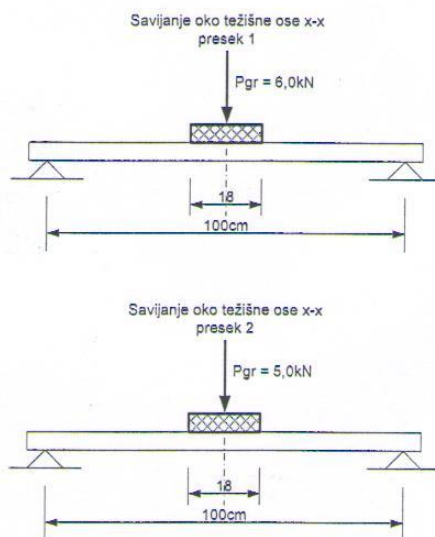
$$n = 15,04/1,35 = \text{cca } 11.$$

Ukoliko je, pak, reč o granitnim pločama debljine 4cm, vertikalno opterećenje koje deluje na predmetni nosač može da ima maksimalni radni intenzitet:

$$p_v = 30(\text{zapreminska težina kamena}) \times 0,04(\text{debljina ploče}) \times 1,50(\text{razmaci horizontalnih elemenata}) = 1,80 \text{ kN/m},$$

pa proizilazi da je u tom slučaju faktor sigurnosti na totalni otkaz – lom nosača – takođe vrlo velik, odnosno sledeći:

$$n = 15,04/1,80 = \text{cca } 8.$$



Slika 8. Ispitivanje na horizontalno opterećenje



Prema *Elaboratu za izradu i izvođenje ventilisane granitne fasade na objektu Centar oblasne kontrole letanje Beograd* (novembar 2009.) navedenom u Uvodu, gde je sproveden vrlo detaljan proračun opterećenja od vetra na vertikalne fasadne površine, dobijeno je da na našim prostorima treba računati sa maksimalnim radnim opterećenjem od vetra intenziteta $1,25 \text{ kN/m}^2$. To opterećenje je već uzeto u obzir pri napred prezentiranoj analizi nosivosti kamenih ploča na dejstvo horizontalnih sila, a ovde se samo napominje da će se sa istim opterećenjem sprovesti i analiza nosivosti horizontalnih aluminijumskih elemenata koji se primenjuju u okviru potkonstrukcije sistema "Tabaš".

Ispitivanjem na dejstvo horizontalnog opterećenja saglasno slici 8, a što odgovara savijanju elemenata-nosača sa preseccima prikazanim na slici 6 oko težišnih osa X, dobijeni su rezultati ispisani u okviru iste slike. Na osnovu dobijenih rezultata, koji predstavljaju srednje vrednosti ispitivanja dva uzorka, proizilazi sledeće:

Presek 1: $\max M_P = 6,0 \times 1,0/4 = 1,50 \text{ kNm}$
 $\max M_P = pl^2/8 = 1,50 \text{ kNm} \rightarrow p_{gr,h} = 12,00 \text{ kN/m}$.

S obzirom na napred dato objašnjenje u vezi usvajanja maksimalnog radnog opterećenja od vetra, linijsko opterećenje koje deluje na predmetni nosač biti :

$$p_h = 1,25(\text{površinsko opterećenje od vetra}) \times 1,50(\text{razmaci horizontalnih elemenata}) = 1,88 \text{ kN/m}.$$

Na osnovu toga proizilazi da je u konkretnom slučaju faktor sigurnosti na totalni otkaz – lom nosača – vrlo velik, odnosno sledeći:

$$n = 12,00/1,88 = \text{cca } 6.$$

Presek 2: $\max M_P = 5,0 \times 1,0/4 = 1,25 \text{ kNm}$
 $\max M_P = pl^2/8 = 1,25 \text{ kNm} \rightarrow p_{gr,h} = 10,00 \text{ kN/m}$

Ako se i ovde pretpostavi da maksimalno horizontalno opterećenje (opterećenje od vetra) koje deluje na fasadnu površinu može da ima intenzitet $1,25 \text{ kN/m}^2$, linijsko opterećenje koje deluje na predmetni nosač biće:

$$p_h = 1,25(\text{površinsko opterećenje od vetra}) \times 1,50/2(\text{razmaci horizontalnih elemenata}) = 0,94 \text{ kN/m}.$$

Na osnovu toga proizilazi da je u konkretnom slučaju faktor sigurnosti na totalni otkaz – lom nosača – vrlo velik, odnosno sledeći:

$$n = 10,00/0,94 = \text{cca } 10.$$

Mada se predmetna ispitivanja odnose na delovanja vertikalnih i horizontalnih opterećenja kao posebnih – isključivih opterećenja kojima su izloženi predmetni nosači, dobijeni eksperimentalni rezultati mogu se uopštiti i na slučajeve simultanih delovanja jednih i drugih opterećenja. Takav stav se može prihvatiti, pošto su pri sprovedenim ispitivanjima dobijeni izuzetno visoki faktori sigurnosti na totalni lom, pa se može smatrati da će ti faktori biti i dovoljno visoki pri istovremenom delovanju i vertikalnih i horizontalnih opterećenja. Može se, dakle, smatrati da će



u tom slučaju faktori sigurnosti svakako biti veći od 2.0, što predstavlja uobičajenu vrednost kada se radi o konstrukcijama ovog tipa, odnosno o potkonstrukcijama ventilisanih kamenih fasada.

Horizontalni elementi potkonstrukcije Tabaš, koji se za vertikalne »L« elemente u svim ukrsnim tačkama vezuju putem zavrtnjeva M8, zavisno od zgrade o kojoj je reč, mogu da budu i vrlo značajnih dužina. U takvim slučajevima, a usled temperaturnih promena, ti elementi mogu da imaju i značajna izduženja odnosno skraćivanja, pri čemu se kao prihvatljive deformacije u tom smislu mogu usvojiti deformacije od $\pm 2,0\text{mm}$ na svakom od krajeva jednog takvog horizontalnog elementa dužine l . Ako se pretpostavi moguća temperaturna razlika $\Delta t = \pm 30^\circ\text{C}$, a uzme u obzir i temperaturni koeficijent linearnog širenja aluminijuma $\alpha_T = 2,2 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$, onda se dobija sledeća vrednost dužine l :

$$l = 2 \times 0,002 \times 10^5 / 2,2 \times 30 \approx 6,0 \text{ m.}$$

Prema tome, na slobodnim krajevima horizontalnih elemenata dužine cca 6,0m, tamo gde se oni završavaju, odnosno gde nemaju produžetke, potrebno je da zavrtnji M8 za vezu sa »L« elementima prolaze kroz »komotnije« otvore, kako bi se time omogućilo slobodno temperaturno dilatiranje predmetnog aluminijumskog elementa.

Ukoliko, a u skladu sa rečenim, na kraju horizontalnog elementa nije omogućeno slobodno temperaturno dilatiranje, na zavrtnj M8 delovaće horizontalna sila

$$H = E_a F \cdot \alpha_T \cdot \Delta t,$$

gde je $E_a = 71\text{GPa}$, a F površina poprečnog preseka horizontalnog elementa. Ako se usvoji $F \approx 3,8\text{cm}^2$, dobiće se da je

$$H \approx 17,8\text{kN.}$$

Ako se pored toga uzme u obzir da na zavrtnj M8 može da deluje i maksimalna vertikalna sila

$$V = 30 \times 0,04 \times 1,50 \times 0,5 = 0,90\text{kN,}$$

rezultujuća sila smicanja koja deluje na zavrtnj biće:

$$R \approx 18\text{kN,}$$

koju silu zavrtnj M8 nije u stanju da prihvati.

Prema tome, ukoliko se ne dopušta slobodno temperaturno dilatiranje horizontalnog aluminijumskog elementa, potrebno je da na njegovom kraju bude izvedena takva konstrukcija koja će moći da prihvati silu od cca 18kN.

Ovde se napominje da identično temperaturno dilatiranje imaju i vertikalni »L« elementi, što znači da jedan takav element dužine 6,0m, ukoliko je fiksiran samo na jednom kraju, može da ima temperaturno izduženje (skraćivanje) od cca 4mm.



8. ZAKLJUČAK

S obzirom na rezultate sprovedenih ispitivanja, kao i na izvršene računске analize koje su u svim slučajevima bile »na strani sigurnosti«, pri čemu je sve to bazirano i na tehničkim uslovima koji su definisani u okviru sistema ventilisane kamene fasade TABAŠ, zaključuje se da predmetna fasada u potpunosti zadovoljava sve uslove u odnosu na nosivost i sigurnost. To se odnosi kako njenu potkonstrukciju, tako na ploče od travertina i granita kao završne-vidne elemente fasade.

Uzimajući u obzir sve napred rečeno, proizilazi nekoliko osnovnih zaključaka i preporuka vezanih za praktičnu primenu sistema TABAŠ:

- u okviru završne fasadne obloge mogu se primenjivati kamene ploče od travertina, polimermera, mermera i granita debljina 2cm, 3cm i 4cm;
- vertikalni "L" elementi alumijumske potkonstrukcije pri primeni ploča debljine 2cm mogu da budu na maksimalnom rastojanju 125cm, pri primeni ploča debljine 3cm na maksimalnom rastojanju 100cm, a pri primeni ploča debljine 4cm na maksimalnom rastojanju 80cm; u svim navedenim slučajevima mestimično mogu da se dozvole i za cca 10% veća rastojanja;
- ukoliko se koriste "primari" od aluminijuma koji obezbeđuju maksimalna udaljenja lica kamena od površine zida veličine 20cm, vertikalni "L" elementi mogu da imaju dužine do 5m; u takvim slučajevima "primari" se fiksiraju sa dva ankera-tipla M10 za beton;
- horizontalni elementi potkonstrukcije, a pri primeni kamenih ploča debljine 3cm, mogu da budu postavljeni na međusobnim rastojanjima od 2m, što znači da se u takvim slučajevima primenjuju ploče dužine 200cm.

S obzirom na sve napred navedeno, odnosno na rezultate sprovedenih eksperimentalnih ispitivanja i izvršenih računskih analiza, proizilazi konačan zaključak da ventilisana kamena fasada sistema TABAŠ, u odnosu na naponsko-deformaciona stanja svojih elemenata i veza, sa visokim koeficijentima sigurnosti može da bude primenjena u praksi. Pri tome, njena primena, logično, mora u svemu da bude saglasna sa tehničkim uslovima koje je u dokumentaciji sistema definisao nosilac sistema TABAŠ.

Izveštaj sastavili:

Prof. dr Mihailo Muravljoy, dipl.građ.inž.

Asist. mr Dimitrije Zakić, dipl.građ.inž.

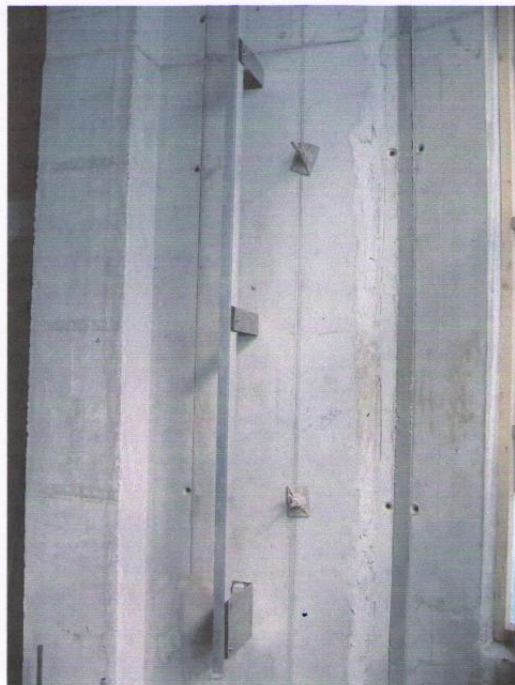
- KRAJ IZVEŠTAJA -

Prilog: fotodokumentacija

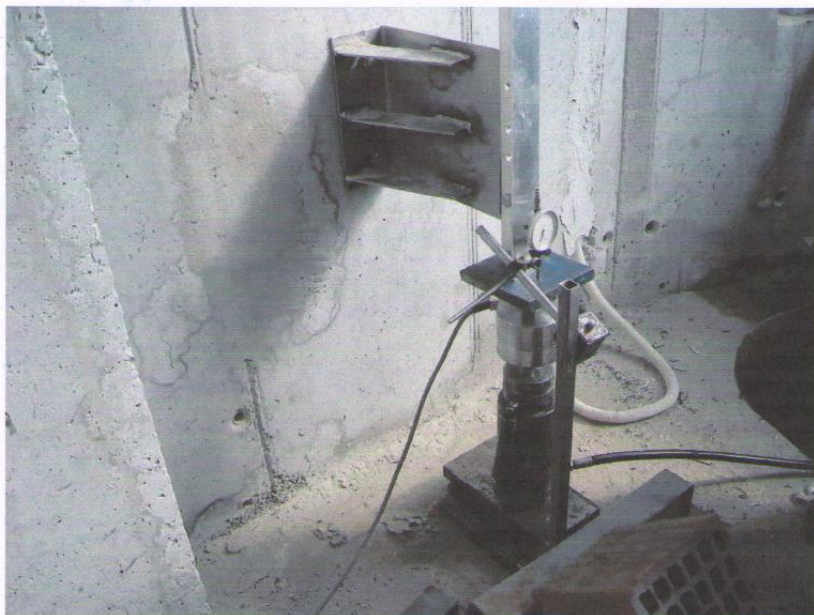
Izveštaj se može umnožavati samo u celosti, a pojedini delovi izveštaja samo uz odobrenje Laboratorije za materijale Instituta za materijale i konstrukcije Građevinskog fakulteta.



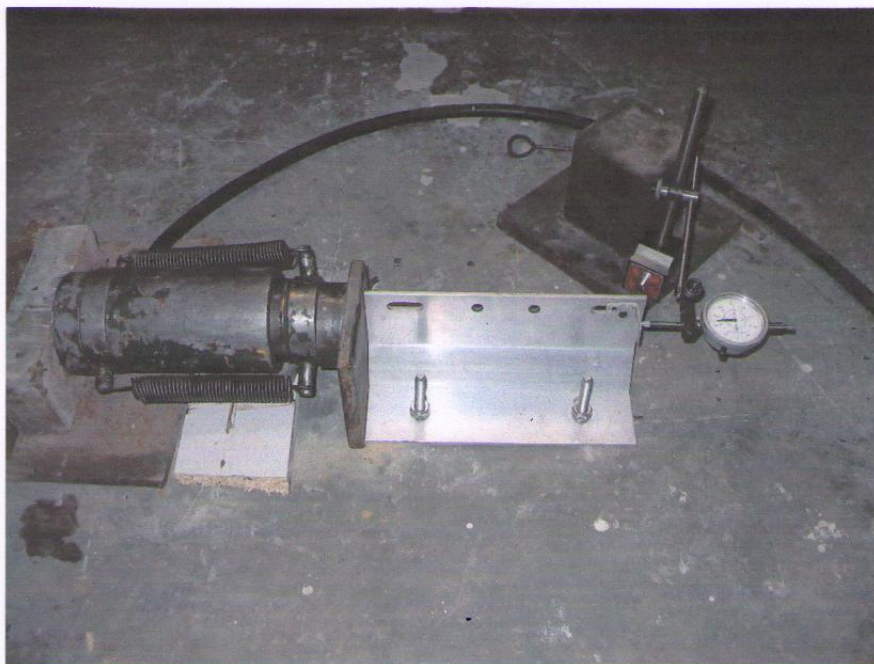
FOTODOKUMENTACIJA



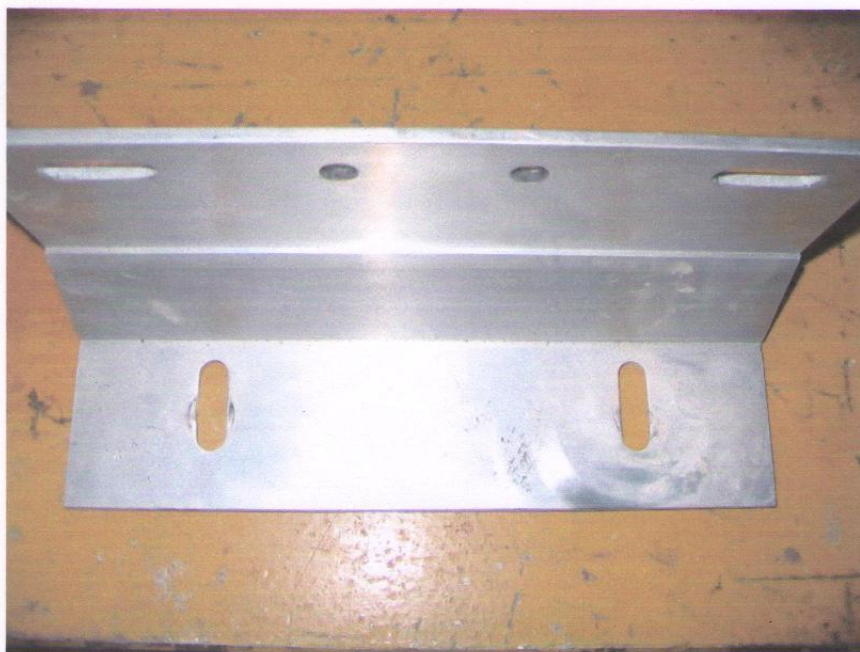
Slika 1. Vertikalni element potkonstrukcije sa primarom od "inoksa" pričvršćenim za zid od armiranog betona



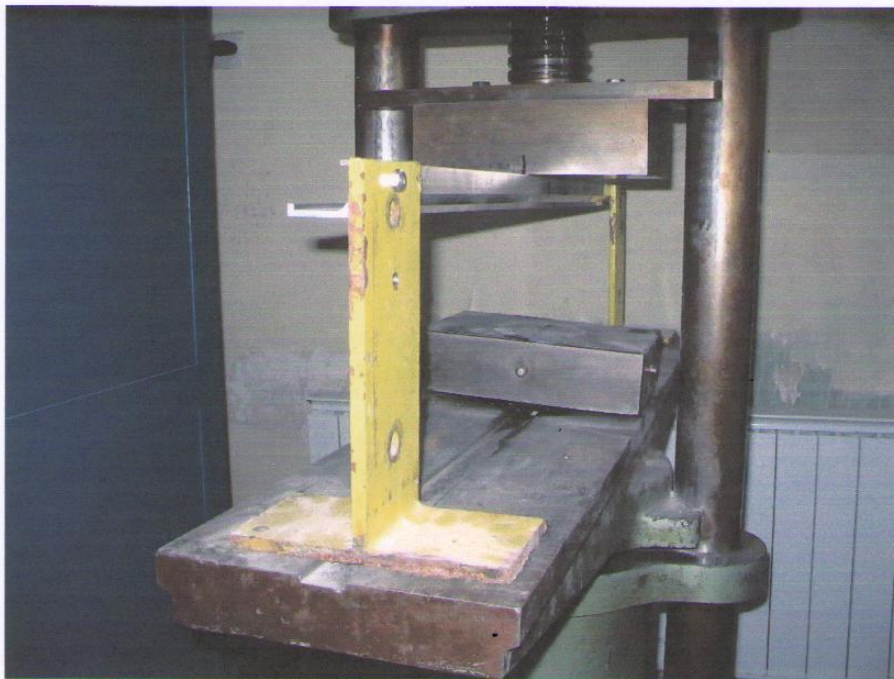
Slika 2. Ispitivanje zavisnosti *sila - vertikalno pomeranje* kod primara od "inoksa"



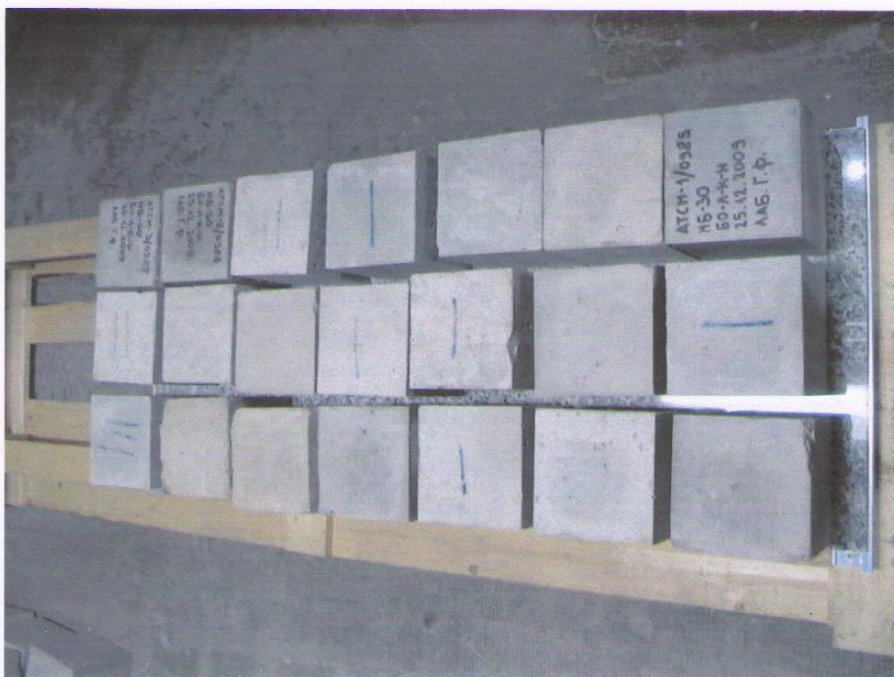
Slika 3. Ispitivanje "primara" u vidu aluminijumskog "Tabaš" profila



Slika 4. Zanemarljiva deformacija na vezi primara sa betonskim zidom nakon ispitivanja



Slika 5. Ispitivanje nosivosti horizontalnih (sekundarnih) elemenata potkonstrukcije



Slika 6. Ispitivanje nosivosti kamenih ploča od granita



Slika 7. Ispitivanje nosivosti kamenih ploča od travertina



Slika 8. Rešenje primara sa produženim "distancerima" u slučajevima kada odstojanje lica kamena od površine zida treba da iznosi 23 cm (ili blisko toj vrednosti)